

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-206>Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/206>

УДК 551.48; 556.166

МОНІТОРИНГ І УПРАВЛІННЯ ГІДРОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ В БАСЕЙНАХ РІЧОК УКРАЇНИ

О.М. Козицький¹, гол. фахівець, С.А. Шевчук², канд. техн. наук, І.А. Шевченко³, канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: olegkoz@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0001-5844-4980>; e-mail: sergey_shevchuk_@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: irina.shevchenko.23@gmail.com

Анотація. У роботі представлені основні напрямки виконаних в ІВПіМ НААН досліджень руслових процесів і найбільш небезпечних природних явищ у басейнах гірських річок України, з якими пов'язані головні гідрологічні ризики і масштабні збитки. Зокрема представлені результати натурних і лабораторних досліджень закономірностей і динаміки розвитку руслових деформацій, динамічної рівноваги системи «потік-русло», руслоформуючих витрат, шорсткості русел, стоку наносів, типізації русел, розробки схем регулювання русел річок у складних гідроморфологічних умовах, конструкцій регуляційних споруд, розробки наукових основ організації моніторингу руслових процесів гірських річок, розробки Методики оцінки динаміки руслових деформацій. Методика базується на комплексному аналізі гідроморфологічних залежностей між морфологічними параметрами русла і гідравлічними характеристиками потоку за окремі розрахункові інтервали спостережень і забезпечує можливість дискретної кількісної оцінки планових і вертикальних руслових деформацій за багаторічний період та їх інтенсивності. Також висвітлено основні результати робіт щодо імплементації в Україні паводкової Директиви 2007/60/ЄС, зокрема розроблення Стратегії управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат. У Стратегії задекларовано новітні підходи щодо реагування на паводки, які передбачають відмову від нинішньої парадигми «захисту від паводків» до інтегрованого управління паводковими ризиками. Стратегія визначає національні механізми стратегічного керівництва у сфері зниження паводкового ризику, напрямки транскордонного співробітництва, координацію робіт у межах районів річкових басейнів для недопущення заходів або дій, що збільшують ризик паводків на інших ділянках річки. Склад і об'єми заходів визначаються залежно від рівня паводкової небезпеки і розрахованих ризиків, на всіх етапах управління ними: оцінки паводкової небезпеки і ризику; запобігання; готовності; реагування і відновлення. У розвиток зазначеної Стратегії в роботі наведені науково-методичні основи щодо комплексної оцінки сумарних рівнів паводкової небезпеки і ризику та їх картографування на геоінформаційній основі.

Ключові слова: руслові процеси, моніторинг, паводкова директива, зони затоплення, паводкова небезпека, управління паводковими ризиками.

Актуальність і постановка питання.

У зв'язку зі зростанням інтенсивності і частоти проходження катастрофічних паводків, одним із найважливіших завдань водогосподарського комплексу України є підвищення ефективності функціонування існуючої системи протипаводкового захисту шляхом впровадження інтегрованих методів управління паводковими ризиками, які базуються на оцінці рівнів паводкової небезпеки і вразливості території (Директива 2007/60/ЄС). У світовій практиці не існує єдиної обов'язкової методики визначення і картографування рівнів паводкової небезпеки і ризику. Кожна з країн індивідуально визначає критерії, показ-

ники і підходи до виконання робіт, залежно від внутрішніх задач, необхідності, наявності бази даних, специфіки і масштабів паводків, наявності технічної інфраструктури для збору даних, моделювання і картографування, а також фінансових можливостей. Відповідно розроблення науково – методичних засад оцінки і картографування рівнів паводкової небезпеки і ризику, а також розроблення на їх основі інтегрованих планів управління паводковими ризиками у відповідності з вимогами паводкової директиви Європейського Союзу (ЄС) є важливою і актуальною задачею в Україні, як асоційованого члена ЄС. Згідно з розробленим планом імплементації

Директиви 2007/60/ЄС (введеним у дію розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 лютого 2015 р. № 132-р), Державною службою з надзвичайних ситуацій (ДСНС) були розроблені і затверджені «Методика попередньої оцінки ризиків затоплення» [1] і «Методика розроблення карт загроз і ризиків затоплення» [2]. Слід зазначити, що наведені методики передбачають побудову тільки двох окремих типів карт паводкової небезпеки (загроз): карту площі і глибини затоплення та карту швидкості потоку, або гідродинамічних впливів на споруди. Вони, відповідно, не передбачають врахування тривалості затоплення, руслових процесів, гравітаційних процесів на схилах, що особливо важливо для гірських басейнів, а також не передбачають алгоритму оцінки сумарної паводкової небезпеки і його картографування. Для візуалізації паводкового ризику передбачено також лише 2 типи окремих карт, перша з яких відображає ризику для людей, друга – для господарської діяльності, довкілля та культурної спадщини. Як і у випадку з картами паводкової небезпеки, методики не передбачають визначення сумарного паводкового ризику і побудови відповідних карт. У зазначених методиках наведено алгоритм визначення ризику затоплення залежно від наслідків (збитків) і ймовірності (сценарію) паводка, а не окремо для кожного з визначених сценаріїв проходження паводка (його забезпеченості), як це передбачено рекомендаціями паводкової Директиви ЄС. Окрім того, у зазначених документах ДСНС питання оцінки паводкових ризиків і їх картографування регламентуються двома окремими документами, однак тут є ряд неузгодженостей, що спричиняють незручності у користуванні.

Визначальним чинником паводкової небезпеки в басейнах річок є швидкість потоку, рівні і тривалість затоплення заплави, але на гірських ділянках річок найбільші паводкові ризики пов'язані з ерозійними процесами в руслах і екзогенними процесами на схилах. Активізація руслових процесів в Українських Карпатах спостерігається з другої половини минулого століття, що значною мірою обумовлено інтенсивним кар'єрним видобутком руслового алювію. З посиленням антропогенного впливу інтенсивність врізання русел значно перевищує природні процеси пониження базису ерозії. У більшості випадків деформації носять незворотний характер і ліквідація їх наслідків потребує значних матеріальних затрат. Через це при визначенні рівнів паводкової небезпеки і відповідних ризиків в гірських районах необхідно врахо-

увати інтенсивність та характер руслових деформацій.

Метою роботи є висвітлення основних результатів робіт, що виконували в Інституті щодо дослідження закономірностей динаміки руслових процесів, розробки стратегії управління паводковими ризиками і науково-методичного забезпечення робіт з оцінки і картографування паводкової небезпеки і ризику з врахуванням характеру та інтенсивності руслових і екзогенних процесів в басейнах річок України.

Викладення основного матеріалу.

Систематичні дослідження з проблем проти-паводкового захисту та руслових процесів розпочалися в Інституті в шістдесяті роки минулого століття, коли на основі матеріалів польових і експериментальних досліджень на гідралічних моделях було розроблено схеми регулювання русел річок зі складною гідроморфологічною ситуацією в умовах проходження високих паводків (Біляшівський М.М., Визго М.С., Журавель І.В., Шолохов В.М., Бухін М.Н., Соловейко Л.Т.). Головна увага тоді приділялася питанням стійкості дамб, розмиву нижніх б'єфів гідротехнічних споруд та конструкціям і компонуванню активних гідротехнічних споруд типу півзагат, які на той час вважалися найбільш раціональним і ефективним засобом проти-паводкового захисту заплавлених територій на ділянках річок із криволінійним у плані руслом [3]. За період з 1975 р. по 1990 р. в Інституті було розроблено понад 20 нових раціональних конструкцій гнучких переливних регуляційних споруд із використанням збірних залізобетонних елементів, з'єднаних гнучкими зв'язками, а також з використанням місцевих та полімерних матеріалів. Розроблені конструкції споруд широко використовували для регулювання паводкового потоку на річках Українських Карпат. За матеріалами натурних і лабораторних досліджень в Інституті підготовлено методичні вказівки з технології проектування протиерозійних гідротехнічних споруд, а також з прогнозування переформувань русел передгірських річок при регулюванні їх захисно-регуляційними спорудами типу півзагат [3]. Паралельно велися дослідження з проблем замулення водосховищ гірських річок (Назаров І.І., Бухін М.Н., Кафтан О.Н., Онищук В.В., Козицький О.М., Більчук О.С.). У результаті було виконано оцінку інтенсивності замулення водосховищ та на основі введення розрахункових регіональних параметрів визначення стоку наносів адаптовано нормативні методики замулення

водосховищ для умов Українських Карпат [4]. Широке експериментальне дослідження виконано з метою вивчення допустимих (нерозривних) швидкостей потоку для неоднорідних незв'язних ґрунтів з урахуванням явища самовимощення русла (Бухін М.Н., Онищук В.В., 1975 р.), що дозволило отримати важливі емпіричні залежності між характеристиками наносів і гідравлічними параметрами потоку, які необхідні для розрахунку стоку наносів [3].

Великий обсяг досліджень було виконано для встановлення закономірностей динаміки руслових процесів річок Українських Карпат, в результаті яких було отримано критерії оцінки динамічної рівноваги матеріальної системи потік-русло, а також дано оцінку шорсткості русла на найвищому структурному рівні самоорганізації річкової системи (Онищук В.В., Кафтан О.Н., Більчук О.С., Козицький О.М.) [5]. Виконані дослідження дозволили розробити методику розрахунку руслоформуючих витрат та здійснити типізацію руслових процесів гірських річок, які в подальшому широко використовувалися при вирішенні прикладних завдань із регулювання русел річок і протипаводкового захисту (Розовський І.Л., Базилевич О.В., Онищук В.В., Кафтан О.Н., Бухін М.Н.) [3]. За результатами виконаних в Інституті теоретичних і експериментальних досліджень руслових процесів було підготовлено і опубліковано низку нормативних і методичних документів щодо питань розрахунку і прогнозування руслових деформацій, вибору конструкцій і схем компонування регуляційних споруд, протипаводкового захисту тощо (Коваленко П.І., Онищук В.В., Кафтан О.Н., Бухін М.Н., Чалий Б.І., Козицький О.М. і ін.) [3; 6-8].

Після проходження катастрофічних паводків на Закарпатті в 1988 і 2001 рр. було виявлено низку недоліків існуючих інженерних рішень щодо протипаводкового захисту територій, що зумовило необхідність розробки принципово нового підходу до вибору раціональних схем регулювання русел гірських річок із мінімальним використанням активних регуляційних споруд, що в науковому плані дозволило сформулювати низку методологічних положень із питань комплексного регулювання руслових деформацій і безпечного проходження високих паводків [9]. Важливу роль до того ж було приділено питанням регулювання і перерозподілу паводкового стоку системою руслових водосховищ і поповнення запасів підземних вод (Ромашенко М.І., Савчук Д.П., Хоружий П.Д. та ін.) [10].

Значний об'єм наукових досліджень із питань динаміки руслових процесів, регулювання русел і протипаводкового захисту виконано в Інституті після проходження катастрофічного паводка на Прикарпатті і Буковині в липні 2008 р. У результаті проведених експедиційних натурних досліджень виконано гідрологічну оцінку проходження паводка та системний аналіз чинників паводкового ризику в басейнах річок Українських Карпат, визначено основні гідроморфологічні ознаки русел річок на ділянках із різними типами руслового процесу, розроблено заходи щодо підвищення ефективності протипаводкового захисту (Ромашенко М.І., Савчук Д.П., Войтович І.В., Козицький О.М., Ворошнов С.М.). Результати досліджень використані при розробці наукового обґрунтування «Схеми комплексного протипаводкового захисту басейнів р. Дністер, р. Прут, р. Сірет», 2008 р.

Значну увагу було приділено дослідженню законів руслоформування, що є головною задачею руслових процесів як науки. У прикладному плані це передусім пов'язано з необхідністю вдосконалення методик прогнозу розвитку руслових деформацій. Ігнорування законів руслоформування при виконанні інженерних робіт практично завжди призводить до негативних наслідків, зокрема активізації незворотних руслових деформацій в руслах річок, що зрештою обумовлює значні економічні затрати, які необхідні для їх ліквідації. Вирішення задач протипаводкового захисту, а також прикладних інженерних заходів в басейнах гірських річок значною мірою залежить від вивчення як загальних закономірностей, так і регіональних умов та особливостей розвитку руслових процесів в руслах і на заплавах річок. Через це важливим напрямком досліджень в Інституті було встановлення закономірностей розвитку руслових процесів гірських річок Українських Карпат, визначення морфологічних та гідроморфологічних залежностей між елементами морфологічної будови русел і гідрологічними характеристиками потоку для різних типів руслових процесів, визначення коефіцієнтів стійкості гірських річок, а також оцінка інтенсивності розвитку руслових деформацій та причин їхньої активізації (Козицький О.М., Міхоніша Т.І., Шевченко І.А.). Отримані безрозмірні гідроморфологічні залежності для гірської, середньої і нижньої течії річок із постійними коефіцієнтами є критеріальними параметрами русел і можуть бути використані при проектуванні регулювальних робіт

та в розрахунках русловиправних трас для визначення найбільш сприятливого режиму пропуску руслового потоку [11]. На основі виконаних досліджень була розроблена Методика оцінки динаміки руслових деформацій, яка забезпечила можливість оцінити характер, інтенсивність та дискретну кількісну оцінку планових і вертикальних руслових деформацій за багаторічний період [12; 13]. Методика розрахунку базується на непрямих методах досліджень на основі комплексного аналізу гідроморфологічних залежностей між морфологічними параметрами русла і гідравлічними характеристиками потоку, що побудовані за окремі розрахункові інтервали спостережень. Вихідними даними для розрахунку є матеріали багаторічних стаціонарних спостережень на гідрологічних постах.

Алгоритм розрахунку включає такі етапи виконання робіт:

- підготовчий етап (збір і аналіз вихідних даних);
- оцінка однорідності рядів спостережень. Вибір розрахункових гідростворів та розрахункових інтервалів;
- побудова гідроморфологічних залежностей;
- розрахунки інтенсивності та кількісних параметрів планових і вертикальних деформацій за розрахункові інтервали часу;
- розрахунки ерозійних коефіцієнтів.

Методика дозволяє отримати кількісні характеристики руслових деформацій як за весь період спостережень, так і за будь-який його інтервали. Використання методики поширюється на рівнинні і гірські річки, незалежно від діапазону діаметрів алювіальних руслових відкладів і наносів.

Дослідження законів функціонування гідродинамічної системи «потік-русло» неможливе без забезпечення матеріалами щодо кількісних характеристик функціонування окремих елементів системи (руслоформуючих чинників) та результатів їх взаємодії, тобто без забезпечення необхідної бази даних. На сьогодні комплексні систематичні режимні спостереження за характеристиками руслових процесів (окрім вимірювання стоку завислих наносів) на гірських річках не виконуються, за винятком окремих спеціалізованих наукових чи прикладних експедиційних досліджень, тому особливо актуальним постає питання організації системи моніторингу руслових процесів. З цією метою в Інституті розроблено вихідні вимоги і організаційну та територіальну структуру моніторингу руслових процесів (МРП) гірських річок, визначено

його місце в єдиній системі гідроморфологічного моніторингу, координацію робіт з іншими блоками екомоніторингу, визначено склад і програму робіт, систему обробітку, передачі і збереження даних, розроблено методичне забезпечення виконання робіт [14]. Також було підготовлено методичні рекомендації щодо відбору проб руслових відкладів і наносів, які враховують вимоги і рекомендації міжнародних стандартів, зокрема ISO 772:1996; ISO 9195:1992; ISO 9212:2005, та включають результати натурних і лабораторних досліджень руслових наносів, виконаних в Інституті. Методичні вказівки поширюються на весь діапазон діаметрів руслового матеріалу та наносів і призначені для забезпечення однорідності рядів спостережень за складом руслових відкладів і наносів за рахунок впровадження єдиних методик відбору проб та виконання їх гранулометричного аналізу. Це необхідно для вирішення наукових проблем дослідження руслових процесів, а також вирішення задач протипаводкового захисту і гідротехнічного будівництва, пов'язаних із необхідністю розрахунку стоку наносів, замулення та занесення б'єфів гідротехнічних споруд та прогнозів руслових деформацій.

На сьогодні в Українських Карпатах збудовано потужний комплекс протипаводкового захисту, що значною мірою зменшує рівень можливих збитків від проходження паводків, однак аналіз умов формування та катастрофічних наслідків від проходження останніх паводків на Закарпатті і в Прикарпатті показує, що існуюча система захисту не забезпечує необхідного рівня захисту, що обумовлює необхідність впровадження нових стратегій і підходів до проблеми протипаводкового захисту. У зв'язку із зростанням частоти і інтенсивності катастрофічних паводків особливо актуальним завданням є створення ефективних басейнових планів управління паводковими ризиками. Зменшення паводкового ризику, як складової гідроекологічної небезпеки, є одним із головних завдань державної політики, вирішення якого забезпечує умови екологічно безпечного проживання людей і сталий розвиток суспільства. Формування і розвиток паводків відбувається в межах складних природно-техногенних та соціальних систем, тому плани управління паводковими ризиками повинні ґрунтуватися на гідроекосистемній концепції збалансованого природокористування та засадах екологічно – невиснажливого та безпечного розвитку, який передбачає всебічний аналіз усіх компонентів ландшафтних комплексів

загалом, а також оцінку впливу проектних заходів на навколишнє середовище. У контексті управління паводками принципи сталого розвитку передбачають забезпечення життєдіяльності та безпеки різних груп населення, а також життєздатності екосистем і функціонування заплавлених територій на довготермінову перспективу.

На основі аналізу ефективності функціонування існуючої системи протипаводкового захисту, результатів новітніх наукових досліджень, врахування світового досвіду і транскордонного співробітництва щодо організації протипаводкового захисту в Інституті розроблено Стратегію управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат [15]. Стратегія враховує рекомендації та настанови Директиви ЄС 2007/60/ЄС, у якій задекларовано новітні стратегічні підходи щодо реагування на паводки, які передбачають відмову від нинішньої парадигми «захисту від паводків» до управління паводковими ризиками в рамках стратегії інтегрованого управління водними ресурсами (ІУВР) і забезпечують координацію, об'єднання зусиль та матеріальних ресурсів усіх зацікавлених сторін суспільства, органів місцевої, регіональної і державної влади. Інтегроване управління паводковими ризиками (ІУПР) охоплює інтеграцію організації землекористування та управління водними ресурсами в басейні річки з комплексом природоохоронних і протипаводкових заходів. Воно спрямоване на одночасне збереження екосистем і пов'язаного з ними біорізноманіття, недопущення людських жертв, зниження рівня паводкової вразливості, а також збільшення ефективності використання заплавлених територій. ІУПР є цілісним підходом, кругообіг води в природі в якому розглядається як єдине ціле, охоплюючи землекористування та водокористування і передбачає в плануванні використання басейнового підходу, що охоплює низку дисциплін та зацікавлених осіб при виконанні робіт, спрямованих на зниження вразливості річкових басейнів, а також на збереження екосистем. Стратегія визначає національні механізми координації і стратегічного керівництва у сфері зниження ризику. Управління паводковими ризиками в межах усього річкового басейну повинно здійснюватися на основі єдиного підходу, заснованого на широкому спектрі інтересів, дисциплін і напрямів політики. Склад і об'єми заходів визначаються залежно від рівня паводкової небезпеки і розрахованих ризиків від проходження паводків та враховують результати

аналізу ефективності функціонування існуючої системи протипаводкового захисту, новітні досягнення у галузі і світовий досвід. Стратегія передбачає координацію робіт у межах районів річкових басейнів для недопущення заходів або дій, які значно збільшують ризик паводків на інших ділянках річки, а також враховує всі аспекти проходження паводків, зосереджуючись на запобіганні, захисті, підготовленості, включаючи прогнози і системи попередження. Визначальними при розроблянні плану управління ризиками повинні бути гідротехнічні заходи, спрямовані на регулювання схилового і максимального руслового стоку в комплексі з регулювальними роботами в руслах і річкових заплавах, а також система неструктурних заходів, зокрема прогнозування паводків, оповіщення, попередження і навчання населення, вибір варіантів безпечного землекористування, створення мобільних санітарних і медичних центрів, пунктів евакуації, резервних запасів техніки, матеріалів, продуктів, води тощо. Комплекс заходів має забезпечити безпечний пропуск паводків з ймовірністю перевищення від 10% до 1% на всій ділянці регулювання, залежно від рівня ризику паводків.

Управління паводковими ризиками складний і тривалий процес, що охоплює всі форми діяльності, включаючи заходи структурного та неструктурного характеру. Ці дії повинні супроводжуватися безперервним процесом прийняття адміністративних рішень, організаційних та оперативних навичок і умінь у здійсненні політичних рішень, стратегій і нарощування потенціалу щодо подолання паводкової загрози. Управління паводковими ризиками – це циклічний процес, що включає такі етапи (цикли): оцінка паводкової небезпеки і ризику; запобігання; готовність; реагування; відновлення (реабілітація). Стратегія визначає основні напрямки виконання робіт, їх склад та шляхи реалізації у межах кожного із зазначених циклів.

Усі головні річки Українських Карпат є транскордонними, тому водогосподарська діяльність на спільному водозбірному басейні повинна здійснюватись узгоджено з інтересами сусідніх країн, у відповідності з рекомендаціями ЄЕК ООН та Конвенції з охорони і використання транскордонних водотоків і міжнародних озер. Стратегією визначені основні принципи довгострокового транскордонного співробітництва, що передбачають широкий спектр скоординованих дій, зокрема:

– визначення єдиних правил і вимог до будівництва та експлуатації гідротехнічних

споруд, розташованих на територіях спільного інтересу, з метою недопущення заходів, що можуть призвести до істотного збільшення паводкового ризику в сусідніх країнах;

- сумісний прогноз та аналіз потенційної небезпеки і ризику та ефективності запланованих заходів (з належним врахуванням індивідуальних втрат та вигод), з метою виробітку спільної стратегії та скоординованих планів управління паводковими ризиками, що включають питання запобігання, захисту, забезпечення готовності і реагування, інформаційної політики та фінансування;

- утворення спільних фінансових фондів, резервів техніки та будівельних матеріалів на прикордонних територіях, розроблення програм страхування і кредитування, технічної і матеріальної взаємодопомоги та співпраці.

У розвиток Стратегії управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат в Інституті розроблена «Методика побудови карт паводкової небезпеки і ризику в басейнах річок» [16], у якій представлені алгоритми визначення рівнів сумарної паводкової небезпеки і ризику для визначених сценаріїв проходження паводків.

Величина ризику визначається на основі врахування імовірності настання та його головних складових: рівня паводкової небезпеки і вразливості (чутливості) території. Загальна структура ризику представлена на рисунку.

Методикою розроблення карт загроз і ризиків затоплення передбачено оцінку паводкових ризиків для сценаріїв проходження максимальних паводків з ймовірністю повторення 0,2%; 1% і 10% [2], однак комплекс протипаводкових гідротехнічних споруд, передбачений Схемами комплексного протипаводкового захисту в басейнах річок України, розрахований на безпечний пропуск паводкових витрат забезпеченістю 1%, а біль-

шість дамб обвалування в заплавах малих і середніх річок, що збудовані раніше, розраховані на пропуск паводків 3% забезпеченості. На відмітки максимального затоплення 1% забезпеченості також розраховані норми підготовки території під забудову, що визначені містобудівною документацією в Україні, тому вибір сценарію для паводків з ймовірністю перевищення максимального стоку 1 раз на 500 років є недоцільним. Відповідно, «Методикою побудови карт паводкової небезпеки і ризику в басейнах річок» передбачено виконання розрахунків паводкової небезпеки і ризику для сценаріїв, що відповідають витраті паводків з ймовірністю перевищення максимальних витрат 1%; 3% і 10%. Структура методики включає 6 етапів робіт: гідрологічні розрахунки для вибраних сценаріїв проходження паводка, визначення зон затоплення, оцінку рівнів паводкової небезпеки, визначення рівнів вразливості території, визначення паводкового ризику і побудову карт паводкової небезпеки і ризику.

Багатофакторність процесів формування паводкової небезпеки і ризику обумовлює широкий спектр побудови відповідних карт, що відображають як сумарні їх величини, так і індивідуальні значення окремих чинників впливу.

Кількість карт, їх структура і повнота наповнення повинні визначатися задачами з управління ризиком та наявністю вихідної інформації. Методологія визначення рівнів паводкової небезпеки базується на основі диференційованої оцінки впливу визначальних чинників небезпеки (зони затоплення, його тривалість, глибини, швидкість потоку, руслові деформації, ерозійні і гравітаційні процеси на схилах тощо) [17]. За необхідності для річкових басейнів загалом або їх окремих ділянок можуть будуватися допоміжні карти, зокрема карти історичних повеней, карти

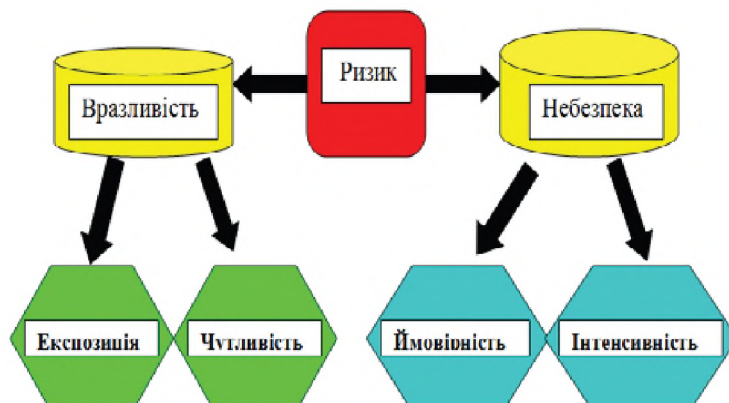


Рис. 1. Загальна схема паводкового ризику

інтенсивності зростання рівнів руслового потоку, карти потенційного навантаження на споруди, карти захисної протипаводкової інфраструктури, шляхів евакуації тощо.

Побудова карт сумарної паводкової небезпеки виконується поетапно, з врахуванням її визначальних чинників, окремо для кожного з прийнятих сценаріїв проходження паводка. На карті різними кольорами повинні відображатися рівні паводкової небезпеки, що переважно включають три основних діапазони – низький, середній та високий. За необхідності додатково можуть позначатися зони дуже низького і дуже високого рівня небезпеки.

Рівні паводкової небезпеки визначаються за формулою

$$N = ((Nh, v) \times (Nt) \times \kappa_1 + Nd \times \kappa_2 \times \kappa_3 \times \kappa_4 \times \kappa_5, \quad (1)$$

де, Nh, v – сумарний параметр глибини затоплення і швидкості потоку;

Nt – тривалість затоплення;

Nd – руслові деформації;

κ_1 – коефіцієнт зростання рівня небезпеки в результаті затоплення;

κ_2 – ймовірність техногенних аварій;

κ_3 – ймовірність обвалів;

κ_4 – ймовірність зсувів;

κ_5 – ймовірність селевих потоків.

Сумарний параметр глибини затоплення і швидкості потоку Nh, v визначається із спеціальної діаграми $Nh, v = f(h; V)$, а параметр K для річок Українських Карпат визначається з карти інтенсивності руслових деформацій, розробленої в ІВПіМ. Для рівнинних річок із низьким рівнем ерозійних процесів параметр Nd і коефіцієнти κ_3, κ_4 і κ_5 не враховуються. Коефіцієнт κ_2 призначається залежно від стану і технічної надійності споруд. Для кількісної оцінки сумарної паводкової небезпеки розроблена шкала балів для визначальних чинників паводкової небезпеки. Шкала балів також розроблена для визначення діапазонів рівнів небезпеки (низький, помірний, високий і дуже високий), окремо для рівнинних і гірських річок.

Визначення сумарного паводкового ризику полягає в необхідності комплексної оцінки як майнових і економічних збитків, що можна оцінити за вартісними показниками, так і соціальних, екологічних та інших втрат. Для диференційованої оцінки паводкових збитків використані статистичні матеріали Німеччини і Австрії, які відображають затрати на відновлення житлової забудови, виробництва, громадської інфраструктури, енергетики, зв'язку і телекомунікацій, сільськогосподарських виробничих приміщень, у розрахунку на

1 м² площі зони затоплення. Соціальні втрати з розрахунку на 1 м² визначені, виходячи із щільності населення і середніх компенсаційних відшкодувань потерпілим. Визначення втрат землеробства в результаті затоплення виконано на основі оцінки втрати урожаю при середній врожайності, також приведеної до площі 1 м². Екологічні втрати і відшкодування на пошкодження історично – культурних об'єктів визначаються тільки для випадків наявності в зоні ризику екологічно небезпечного виробництва або історично – культурних об'єктів. Їх врахування здійснюється шляхом введення посилюючих коефіцієнтів K_1 і K_2 . Рівень вразливості в балах у Методиці передбачено визначати залежно від співвідношення затрат, розрахованих для зазначених вище чинників ризику. Наведені показники вразливості представляють уже осереднені значення, що враховують усі можливі варіанти їх прояву, зокрема затрати на компенсацію виробництва включають як прямі, так і вторинні збитки.

Сумарний рівень вразливості території в балах визначається за формулою

$$V_r = 0,01 (F_{1(\%)}, W_{житл} + K_1 \times F_{2(\%)}, W_{вир} + K_2 F_{3(\%)}, W_{інфр} + F_{4(\%)}, W_{с-г} + F_{5(\%)}, W_{к-і}) + W_c, \quad (2)$$

де $F_{1(\%)}, F_{2(\%)}, F_{3(\%)}, F_{4(\%)}, F_{5(\%)}$ – площі земель, зайняті житловою забудовою, промисловим виробництвом і тваринництвом, об'єктами житлової, комунальної і виробничої інфраструктури, сільськогосподарськими угіддями, об'єктами культурно – історичної спадщини;

$W_{житл}, W_{вир}, W_{інфр}, W_{с-г}, W_{к-і}, W_c$ – затрати на відшкодування паводкових збитків у балах для відповідних галузей економіки і соціальної сфери.

Площі виражаються у відсотках від загальної площі території в межах зони ризику.

Побудова карт паводкової небезпеки і ризику передбачена на геоінформаційній основі, що забезпечує можливість візуалізації як сумарних їх величин, так і диференційовано, для окремих чинників впливу.

Висновок. Запропоновані методичні підходи щодо оцінки сумарного паводкового ризику рекомендуються для практичного використання в ході розроблення і реалізації планів інтегрованого управління паводковими ризиками в басейнах річок, які згідно із законодавством України повинні уточнюватися кожні шість років. Подібна оцінка паводкової вразливості раніше в Україні не виконувалася, тому запропонована бальна система оцінки паводкової небезпеки і ризику є попередньою і повинна уточнюватися в процесі накопичення статистичних даних

щодо фактичних збитків від проходження катастрофічних паводків різної ймовірності повторення. У подальшому наукові дослідження з питань інтегрованого управління паводкового ризику повинні бути зосереджені на питаннях дослідження закономірностей розвитку руслових процесів і розроблення

на їх основі математичних моделей регулювання руслових деформацій, удосконалення методології прогнозування паводків і їх попередження на базі імітаційного моделювання, а також розробляння новітніх комплексних схем басейнового регулювання стоку з метою зменшення його максимальних витрат.

Бібліографія

1. Методика попередньої оцінки ризиків затоплення. Затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України №30, від 17.01.2018.
2. Методика розроблення карт загроз і ризиків затоплення. Затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України № 153, від 28.02.2018.
3. Коваленко П.І. та ін Дослідження руслових процесів гірських річок // Меліорація і водне господарство. Київ: Аграрна наука, 2004. Вип. 90. С.183–190.
4. Схема комплексного протипаводкового захисту басейнів р. Дністер, р. Прут, р. Сірет. Методичні вказівки з розрахунку замулення гірських водосховищ на річках Українських Карпат. Київ: Схвалено вченою радою ІГіМ УААН 15 вересня 2008, протокол № 5. 90 с.
5. Онищук В.В., Бильчук О.С., Козицкий О.Н. Физическое моделирование русловых процессов горных рек // Мелиорация и водное хозяйство. Киев, 1989. Вып. 70. С. 60–65.
6. ВНД «Методические рекомендации по расчету деформаций русел и выбору защитно-регуляционных мероприятий на реках Украинских Карпат. / Под ред. П.И. Коваленко. Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, АН УССР. Киев, 1988. 176 с.
7. ВНД 33-5.5-14-03 Річки гірські. Регулювання русел та догляд. Київ: Держводгосп України, 2003.
8. Розрахунки руслових процесів. Посібник до ВБН В.2.4-33-2.3-03-2000 Регулювання русел річок. Норми проектування. Київ.: Інститут гідротехніки і меліорації УААН. Затверджено наказом ІГіМ 15 грудня 2004. 195 с. (Електронний збірник нормативних документів Держводгоспу України).
9. Ободовський О.Г., Онищук В.В., Козицкий О.М. Деякі методичні аспекти оцінки стоку наносів гірських річок в контексті розроблення комплексу протипаводкових заходів. Гідрологія. Гідрохімія і гідроекологія. Київ: ВГЛ «Обрії», 2003. С. 25–29.
10. Ромашенко М.І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини регулювання. Київ: Аграрна наука, 2002. 303 с.
11. Козицкий О.М. Закономірності процесів руслоформування та моніторинг руслових процесів річок Українських Карпат. В кн. Інтегроване управління водними і земельними ресурсами на меліорованих територіях. Київ: Аграрна наука, 2016. С. 288–320.
12. Козицкий О.М. Методичні основи оцінки характеру та інтенсивності руслових деформацій // Меліорація і водне господарство. Київ: Аграрна наука, 2011. Вип. 99. С. 276–290.
13. Методика оцінки динаміки руслових деформацій / Шевчук С.А. та ін. Київ: ІВГіМ, ЦП «Компринт», 2015. 30 с.
14. Козицкий О.М. та ін. Методологічні основи організації та ведення моніторингу руслових процесів // Меліорація і водне господарство. Київ: Аграрна наука, 2010. Вип. 98. С. 252–263.
15. Стратегія управління паводковими ризиками в басейнах річок Українських Карпат / Шевчук С.А. та ін. Київ: ІВГіМ, ЦП «Компринт», 2015. 21 с.
16. Оцінка паводкової небезпеки та ризику в басейнах річок України. Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії / Яцюк М.В. та ін. Херсон: збірник наукових праць ДВНЗ «ХДАУ», 2019. С. 8–11.
17. Методика оцінки рівнів паводкової небезпеки в басейнах річок Українських Карпат / Шевчук С.А. та ін. Київ: ІВГіМ, ЦП «Компринт», 2015. 21 с.

References

1. Metodyka poperednoi ocinky ryzykiv zatoplenja [The methodology of preliminary assessment of flood risks]. Zatverdzhena nakazom Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy № 30, vid 17.01.18. (2018). Kyiv. [in Ukrainian].
2. Metodyka rozroblenja kart zagroz i ryzykiv zatoplenja [Methods for developing threat maps and flood risks]. Zatverdzhena nakazom Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy № 153, vid 28.02.18. (2018). Kyiv. [in Ukrainian].

3. Kovalenko, P.I., Onyshchuk, V.V., Chalyi, B.I., & Kozytskyi, O.M. (2004). Doslidzhennia ruslovykh protsesiv hirskykh richok [Investigation of river processes of mountain rivers]. *Melyoratsiia y vodne hospodarstvo* [Land reclamation and water management], 90, 39–45. [in Ukrainian].
4. IHIM NAAS. (2008). Skhema kompleksnoho protypavodkovoho zakhystu baseiniv r. Dnister, r. Prut, r. Siret [Scheme of integrated flood protection for the pool of the rivers Dnister, Prut, Siret.]: Zvit pro NDR. № DR0108U007970. Kyiv. [in Ukrainian].
5. Onyshchuk, V.V., Bylchuk, O.S., & Kozytskyi, O.N. (1989). Fyzycheskoe modelyrovanye ruslovukh protsessov hornnykh rek [Physical modeling of channel processes of mountain rivers]. *Melyoratsiia y vodnoe khoziaistvo* [Land reclamation and water management], 70, 60–65. [in Russian].
6. Kovalenko, P.Y. (Eds.). (1988). *Metodycheskye rekomendatsyy po raschetu deformatsyi rusel y vyboru zashchytno-rehuliatsonnykh meropriaty na rekakh Ukraynskykh Karpat* [Methodological recommendations for calculation of channel deformations and choosing protective and regulatory measures on the rivers of the Ukrainian Carpathians]. Kiev: AN USSR. [in Russian].
7. Richky hirski. Rehuliuвання русел та догляд [Mountain rivers. Channel regulations and operation]. (2003). VND 33-5.5-14-03. Kiev, Derzhvodhosp Ukrainy. [in Ukrainian].
8. Rozrakhunky ruslovykh protsesiv. Posibnyk do VBN V.2.4-33-2.3-03-2000 Rehuliuвання русел richok. Normy proektuvannya [Calculation of channel processes. Instruction to VBN V.2.4-33-2.3-03-2000 Regulated channels of the river. Project regularities]. (2004). Kiev. Retrieved from: <http://nuwm.edu.ua/library/nd.html> [in Ukrainian].
9. Obodovskyi, O.H., Onyshchuk, V.V., & Kozytskyi, O.M. (2003). Deiaki metodychni aspekty otsinky stoku nanosiv hirskykh richok v konteksti rozroblennia kompleksu protypavodkovykh zakhodiv [Some Methodical Aspects of Estimation of Runoff of Mountain Rivers in the Context of Development of a Complex of Flood Measures]. *Hidrolohiia. Hidrokhiimiia i hidroekolojiia* [Hydrology. Hydrochemistry and hydroecology]. Kyiv: VHL Obrii, 25–29. [in Ukrainian].
10. Romashchenko, M.I., & Savchuk, D.P. (2002). *Vodni stikhii. Karpatski poveni. Statystyka, prychny rehuliuвання* [Water elements. Carpathian floods. Statistics, reasons for regulation]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
11. Kozytskyi, O.M. (2016). Zakonomirnosti protsesiv rusloformuvannya ta monitorynh ruslovykh protsesiv richok Ukrainskykh Karpat [Regularities of the processes of river formation and monitoring of river processes of the Ukrainian Carpathian rivers]. V kn. *Intehrovane upravlinnia vodnymy i zemelnymy resursamy na meliorovanykh terytoriakh* [In the book. Integrated management of water and land resources in the reclaimed territories]. Kyiv: Ahrarna nauka, 288–320. [in Ukrainian].
12. Kozytskyi, O.M. (2011). *Metodychni osnovy otsinky kharakteru ta intensyvnosti ruslovykh deformatsii* [Methodical bases of estimation of character and intensity of channel deformations]. *Melyoratsiia i vodne hospodarstvo* [Land reclamation and water management], 99, 276–290. [in Ukrainian].
13. Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., Mikhonosha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2015). *Metodyka otsinky dynamiky ruslovykh deformatsii* [Method of estimation of dynamics of channel deformations]. Kyiv: IVPiM, TsP Komprynt. [in Ukrainian].
14. Kozytskyi, O.M., Voroshnov, S.M., Mikhonosha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2010). *Metodolohichni osnovy orhanizatsii ta vedennia monitorynhu ruslovykh protsesiv* [Methodological bases of organization and monitoring of channel processes]. *Melyoratsiia i vodne hospodarstvo* [Land reclamation and water management], 98, 252–263. [in Ukrainian].
15. Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., Mikhonosha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2015). *Strategs upravlinna pavodkovymy ryzykamy v basejnakh richok Ukrainskykh Karpat* [Flood risk management strategy in Ukrainian Carpathian river basins]. Kyiv: TsP Komprynt. [in Ukrainian].
16. Yatsyuk, M.V., Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., & Shevchenko, I.A. (2019). *Ocinka pavodkovoї nebezpeky ta ryzyky v basejnakh richok Ukrainy* [Flood risk and risk assessment in river basins of Ukraine]. *Suchasni tekhnologii ta dosiahnennia inzhenernykh nauk v haluzi hidrotekhnichnoho budivnytstva ta vodnoi inzhenerii* [Modern technologies and achievements of engineering sciences in the field of hydrotechnical construction and water engineering]. *Zbirnyk naukovykh prats DVNZ KhDAU*, 8–11. [in Ukrainian].
17. Shevchuk, S.A., Kozytskyi, O.M., Mikhonosha, T.I., & Shevchenko, I.A. (2015). *Metodyka ocinky rivniv pavodkovoї nebezpeky i ryzyku v basejnakh richok Ukrainskykh Karpat* [Methods of estimation of flood hazard levels in the river basins of the Ukrainian Carpathians]. Kyiv: TsP Komprynt. [in Ukrainian].

О.Н. Козицкий, С.А. Шевчук, И.А. Шевченко

Мониторинг и управление гидрологическими рисками в бассейнах рек Украины

Аннотация. В работе представлены основные направления выполненных в ИВПиМ НААН за последние годы исследований русловых процессов и наиболее опасных природных явлений в бассейнах горных рек Украины, с которыми связаны главные гидрологические риски и масштабные убытки. В частности, представлены результаты натурных и лабораторных исследований закономерностей и динамики развития русловых деформаций, динамического равновесия системы «поток-русло», руслоформирующих расходов, шероховатости русел, стока наносов, типизации русел, разработки схем регулирования русел рек в сложных гидроморфологических условиях, конструкций регулиционных сооружений, разработки научных основ организации мониторинга русловых процессов горных рек Украинских Карпат, разработки методики оценки динамики русловых деформаций. Методика базируется на комплексном анализе гидроморфологических зависимостей между морфологическими параметрами русла и гидравлическими характеристиками потока за отдельные расчетные интервалы наблюдений и обеспечивает возможность дискретной количественной оценки плановых и вертикальных русловых деформаций за многолетний период и их интенсивности. В работе также освещены основные результаты работ по имплементации в Украине паводковой Директивы 2007/60/ЕС, в частности разработки Стратегии управления паводковыми рисками в бассейнах рек Украинских Карпат. В Стратегии задекларированы новейшие стратегические подходы по реагированию на паводки, которые предусматривают отказ от нынешней парадигмы «защиты от паводков» к интегрированному управлению паводковыми рисками. Стратегия определяет национальные механизмы стратегического руководства в сфере снижения паводкового риска, направлений трансграничного сотрудничества, координации работ в пределах районов речных бассейнов для недопущения мероприятий или действий, увеличивающих риск паводков на других участках реки. Состав и объемы мероприятий определяются в зависимости от уровня паводковой опасности и рассчитанных рисков на всех этапах управления ими: оценки паводковой опасности и риска; предупреждения; готовности; реагирования и восстановления. В развитие указанной Стратегии в работе приведены научно-методические основы комплексной оценки суммарных уровней паводковой опасности и риска и их картографирования на геоинформационной основе.

Ключевые слова: русловые процессы, мониторинг, паводковая директива, зоны затопления, паводковая опасность, управление паводковыми рисками.

O.M. Kozitskyi, S.A. Shevchuk, I.A. Shevchenko

Monitoring and management of hydrological risks in the river basins of Ukraine

Abstract. The paper presents the main areas of the researches of river's bed processes and the most dangerous natural phenomena in the mountain river basins of Ukraine, with which the main hydrological risks and large-scale losses are associated, carried out at the Institute of Water Problems and Land reclamation in recent years. In particular, the results of full-scale and laboratory studies of the patterns and dynamics of the development of river bed's deformation processes, the dynamic equilibrium of the "stream - river bed" system, bed-formation's flow rate, riverbed roughness, sediment runoff, classification of rivers bed, riverbed's regulation schemes in complex hydromorphological conditions are presented, as well, as development of scientific bases of organization of the Ukrainian Carpathians mountain rivers processes' monitoring, development of the Methodology of estimation of channel's deformations dynamics. The Methodology is based on a complex analysis of hydromorphological dependences between the morphological parameters of the riverbed and the hydraulic characteristics of the flow at separate calculated intervals of observations and provides the possibility of discrete quantitative assessment of the planned and vertical riverbed deformations over a long period and their intensities. The paper also highlights the main results of work on the implementation of the Flood Directive 2007/60/EC in Ukraine, in particular, the development of a Flood Risk Management Strategy in the Ukrainian Carpathian River basins. In the Strategy declared the latest approaches to flood response, which foresee the abandonment of the current paradigm of "flood protection" to favor integrated flood risk management. The Strategy identifies national mechanisms for strategic management in flood risk reduction, cross-border cooperation areas, coordination of work within river basin districts to prevent flood-related activities or increasing flood risk in other reach of the river. The composition and scope of activities are determined, depending on the level of flood hazard and calculated risks, at all stages of their management: flood hazard and flood risk assessments; prevention; readiness; response and recovery. For the future development of this Strategy, the paper presents the scientific and methodological bases for a comprehensive assessment of the total levels of flood hazard and flood risk and their mapping on a GIS basis.

Key words: riverbed processes, monitoring, flood directive, flood zone, flood zones, flood risks management.